

# 地下厂房顶拱预应力锚索监测成果分析

小浪底工程咨询有限公司 侯新华 于世厚

**【摘要】** 本文对小浪底工程地下主厂房顶拱安装的锚索测力计在开挖期间监测的资料进行了初步分析,就后张锚索张力的孔道摩擦损失进行了初步计算。两者分析的吻合说明,这一阶段的监测资料所反映的锚索张力增加并不是表明厂房顶拱岩体因开挖而发生了下沉变形,而是锚索锁定后自身应力调整的结果,但这期间厂房的开挖爆破对锚索张力变化有瞬时影响。

**【关键词】** 地下厂房 锚索应力监测 围岩变形 开挖 小浪底工程

小浪底工程的发电主厂房为全地下式厂房,跨度 26.2m,长 251.5m,目前正在施工,顶拱高程约 EL165。厂房顶拱布置有 325 根预应力锚索,其中 9 根锚索

安装了测力计进行预应力监测,顶拱支护及锚索测力计布置的典型断面如图一。这些预应力锚索除需要安装测力计的外,全部在 96 年 2 月完成。锚索测力

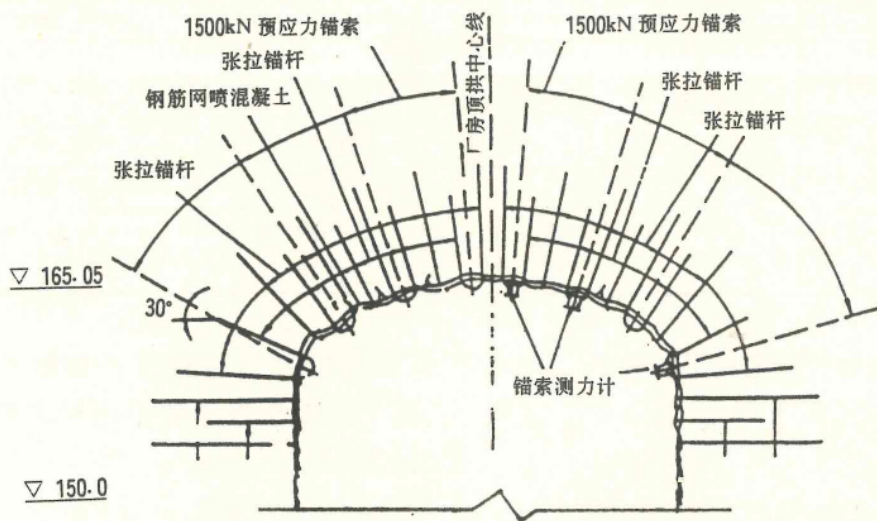


图1 厂房顶拱支护与锚索测力计布置图

计是从6月24日开始安装的,到28日基本安装完。随后厂房继续开挖,开挖掌子面的爆破震动是否对顶拱围岩变形产生不利影响,是我们在厂房开挖期间关注的问题之一。本文就这一问题利用锚索测力计在开挖过程中的监测成果作一初步分析,供大家探讨。

### 一、基本施工情况

本工程发电主厂房顶拱的后张预应力锚索单孔设计张力为1500kN,锁定张力为1000kN,全长25m,其中锚固段长8m,一次灌浆完成。锚索的钢绞线为270级无粘结型(ASTMA-416,标准 $\varnothing$ 15.24,最小破断力260.7kN,强度1860MPa)。为了消除钢绞线及岩体蠕变影响,锚索张拉的施工方法采用分级张

拉检测蠕变,并超张拉到1900kN,再下降到1000kN锁定。张拉程序为:0→50→450→900→1200→1500→1900→1500→1000→锁定,除在1900kN级停顿20分钟外,在其它各级均停5分钟并测量。锁定张力是安装时的瞬时张力。

9支锚索测力计分别安装在厂房三个断面位置上,如表一。仪器安装时厂房已开挖到高程EL150,安装完成后,7月份B、C断面开始开挖。承包商为了保护仪器电缆,把它留在顶拱上,这给观测带来了困难,又由于观测台车不能按时进场,各支仪器的观测都是断续进行的。截止8月底已有2个多月的观测资料,此时B、C断面已开挖到EL144高程。

表1 主厂房顶拱锚索测力计安装位置表

仪器编号	断面/桩号	位置	安装日期
1#	A-A/0+235.25	左拱跨	6月28日
2#		左拱跨	8月15日
3#		左拱跨	6月28日
4#	B-B/0+129.25	右拱跨	6月27日
5#		右拱跨	6月27日
6#		右拱跨	6月26日
7#	C-C/0+50.00	左拱跨	6月25日
8#		左拱跨	6月26日
9#		左拱跨	6月24日

### 二、锚索测力计观测成果的分析

主厂房顶拱安装的锚索测力计是美国SINCO公司生产的5130型中心孔锚索压力盒,为全桥电阻应变片式仪器。这

些仪器在安装前进行了严格的现场标定,表二是根据观测数据用标定参数计算出的张力。



表 2

主厂房顶拱锚索测力计实测张力

单位: kN

测读日期	锚 索 测 力 计 编 号							
	1#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
6.24								1018
6.25						1017		
6.26					1028		1010	
6.27			1012	1009	1004			
6.28	1034	1027						
7.2	1017	1011	1000	991		1002	997	993
7.6						1000	996	991
7.11			996	985	997	998	994	988
7.15	1011	1003	995	984	995		994	1013
7.18	1010	1003	995	984	996		994	1006
7.20						1033	1042	1009
7.22	1009	1001	1029			1005	993	1004
7.25	1009	1002	994			997	993	988
7.27			1042			1047	1025	1040
7.29			1042			1047	1025	1038
8.1			1041			1047	1025	1038
8.3			1041		1051	1047	1025	1038
8.7			993		994	1048	1025	1037
8.10			1041		1045	1048	1024	
8.14			1040	1040	1042	998	991	981
8.21	1067	1037						
8.23	1002	1037						
8.24	1067	1036	1040	1037	1038	1048	1022	1033
8.28	1067	1037	990	977	988	998	990	978
8.31	1067	1036	1038	1037	1002	1049	1022	1033

对观测成果的分析,认为有如下特点:

1. 锚索在锁定后有小于 20kN 的张力损失,在以后约四周内(7月27日及以前)张力变化很小。

2. 在7月27日至8月31日一个多月厂房开挖期间,全部锚索测力计张力增大到最高值(相对观测数值)并基本保持不变。增加的张力具有突发性、短时间内的一致

性和长期稳定性(一个月时间)等这些特点。

### 三、后张预应力锚索的张力机理分析

对超张拉(1900kN)低吨位锁定(1000kN)的锚索在孔道中(自由段)的应力分布如图二,理论分析如下:

1. 锚索张拉到 1900kN 时,由于受到孔道摩阻力作用,张拉端口张力最高,而锚固端张力最低,如图二中超张线,  $m$  是孔道摩擦损失斜率。
2. 锚索张力下降到锁定吨位(1000kN)时,由于孔道摩擦损

失系数不改变,锚索张力分布形成“倒拉”,即  $m$  值不变,符号相反(为  $-m$ ),如图二中的锁定线。此时锚固端张力最高,张拉端张力最低。

3. 锚索锁定后有松弛损失(张拉初期应力损失较大),张力降低,如图二中松弛线。
4. 张拉后锚索由于应力不均匀,自身要做应力平衡调整,即高应力区段(靠锚固段的区段)向低应力区段(靠张拉端口段)调整。应力调整平衡后,张拉端口的张力增加,如图二中平衡线。

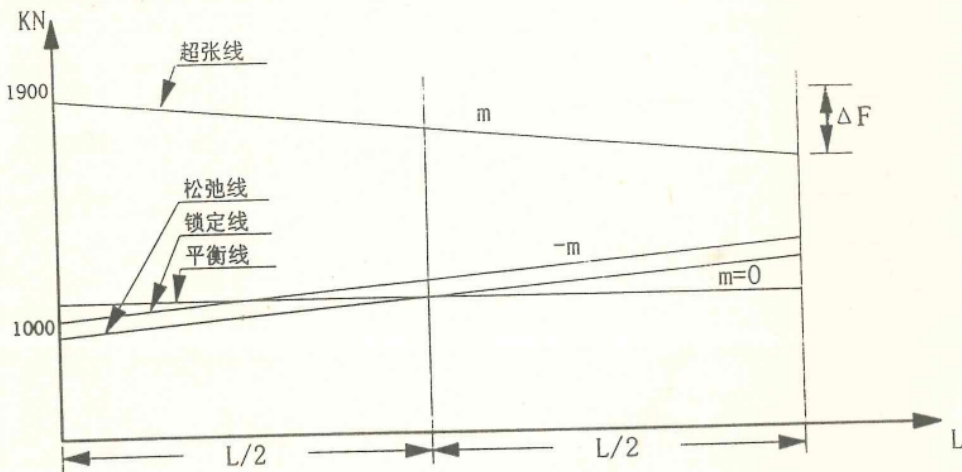


图2 锚索沿孔道长度张力分布示意图

按上述分析,厂房顶拱锚索的张力( $F'$ )在张拉端口平衡时为:

$$F' = (1+p) \times F$$

式中: $F$  为锚索锁定吨位

$p$  为锚索应力平衡调整的计算系数。

根据美国后张预应力砼学会所著《后张预应力砼手册》(以下简称“手册”)

的经验,锚索应力平衡时,张拉端口的张力调整为孔道摩擦损失( $\Delta F$ ,如图2所示)减去松弛损失后的一半。“手册”提供的“包裹的塑”孔道摩擦损失系数( $K$ )范围为: $K=0.00164\sim 0.00492/m$ ,在没有资料情况下建议取值: $K=0.00328/m$ 。因本工程的承包商未做摩擦损失系数( $K$ )测定,本文取“手册”中的建议值来计



算孔道摩擦损失。对厂房顶拱安装测力计的锚索已张拉有两个月的时间,其张力的松弛损失可按锁定张力的1%计算。对有17m长自由段的厂房顶拱锚索,其应力平衡调整的计算系数p为:

$$(0.00328/m \times 17m - 1\%) \div 2 = 0.02288$$

按上述计算式计算的各锚索张力及

与实测张力的误差如表三。

如表三,各锚索实测张力与计算值的误差很小(平均±8kN),其值有正有负,分析是各锚索摩擦损失系数(K)有较小的差别造成的(如各锚索在自由段孔道中的正直不一样)。

表3 锚索计算张力及其与实测张力的误差 单位:kN

锚索测力计编号	锁定吨位	计算锚索张力	实测张力	误差
1#	1034	1058	1067	9
3#	1027	1050	1037	-13
4#	1012	1035	1041	6
5#	1009	1032	1037	5
6#	1028	1052	1045	-7
7#	1017	1040	1048	8
8#	1010	1033	1025	-8
9#	1018	1041	1038	-3

#### 四、锚索应力变化与厂房顶拱围岩变形的认识

通过上述分析计算,认为上述锚索在厂房开挖期间观测的张力变化(增大)并不是顶拱岩体下沉的结果,而是锚索在锁定后不均匀应力自身调整的结果。实测锚索在锁定后的张力增大与上述理论分析计算的相互吻合,也说明这期间厂房的开挖爆破总体说来并未对顶拱围岩的变形产生不利影响。理论分析锚索应力的调整和松弛损失应有时间过程和应力变化过程,不应是突发性的,而从表二看,所有仪器增加到最大值均是在7

月27日以后。分析认为这是张拉端口离高应力区最远,开挖爆破的震动促使高应力区向低应力区集中释放能量的结果,亦即震动加速了锚索应力的平衡调整,并在张拉端口显示出来。锚索应力平衡后,从8月7日、14日和28日的测值看,各支仪器均有张力下降,但又很快恢复到原来的测值。分析认为这反映的是开挖爆破的冲击波影响,这种影响是瞬时的,不能说明厂房顶拱岩体已经位移。但这种影响也不能忽视,需要在厂房开挖期间注意监测。